Travaux Pratiques - ASSERVISSEMENT
MaxPID

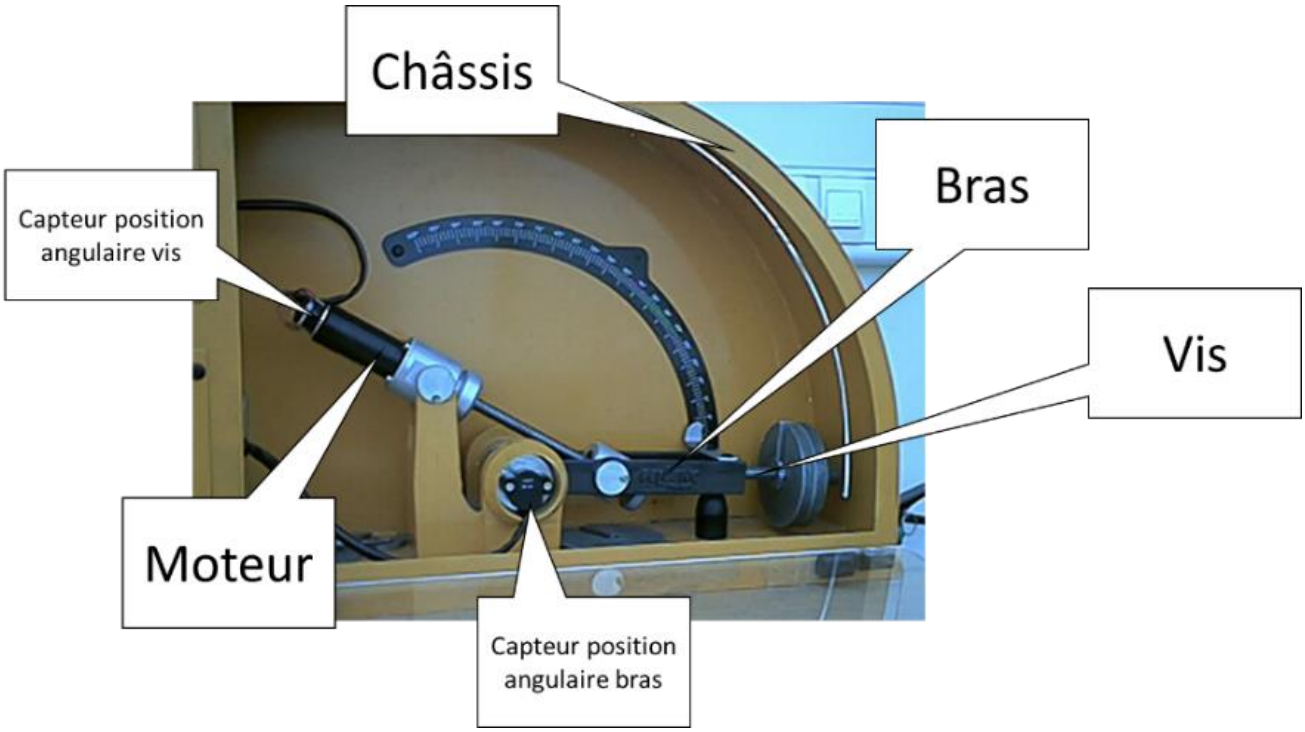
Objectifs du TP

Modéliser le comportement dynamique de la chaîne fonctionnelle du MAXPID et valider le modèle par comparaison des performances simulées et des performances, attendues par le client, définies dans le cahier des charges. Etudier l'influence de différents correcteurs sur les performances du système.

1 – Mise en situation

Le système étudié est un bras extrait d'un robot de cueillette de fruits. Il permet de contrôler la position du tube de cueillette pour ramasser les fruits dans les arbres.

Le mécanisme maquettisé et instrumenté permet d'asservir la rotation d'un bras (auquel on peut attacher différentes masses). Ce bras est mis en mouvement par l'intermédiaire d'une vis entraînée par un moteur. Des capteurs angulaires permettent de mesurer la position angulaire de la vis par rapport au moteur, et du bras par rapport au châssis. D'autres capteurs permettent de mesurer le courant dans le moteur.



2 – Modélisation du système

Dans cette partie, nous allons établir un modèle de chaque composant de notre système.

Régler les paramètres suivants dans les commandes du MaxPID :

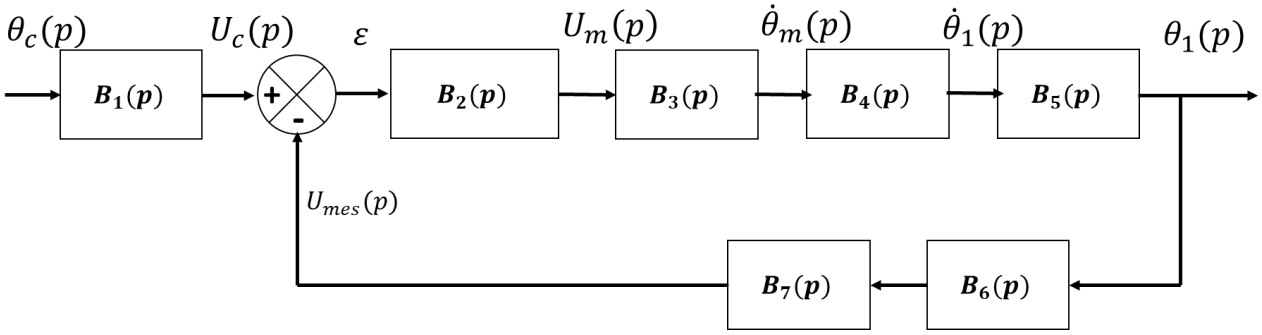
Aller dans le menu *TRAVAILLER avec MAXPID* puis *Réponse à une sollicitation.*

Régler le temps de mesure : *Durée acquisition = 1800 ms*

Cliquer sur le bouton *PID* et régler les valeurs suivantes :

Gain Proportionnel (Kp) = 200	*Erreur statique = 1.0 °*
Gain Intégral (Ki) = 0	*Erreur de poursuite = 10°*
Gain Dérivé (Kd) = 0	*Accélération = 10.0 rad/s²*
Facteur Commande = 3	*Vitesse = 1.0 rad/s*

Le système étant asservi, son schéma fonctionnel comporte une boucle de retour et un comparateur.



Sur la chaîne d'action, U_m est la tension de commande du moteur, $\dot{\theta}_m$ est la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du moteur, $\dot{\theta}_1$ est la vitesse de rotation du bras et θ_1 est la position angulaire du bras.

Les grandeurs intermédiaires étant définies, donner pour chacun des blocs ($B_1(p)$ à $B_6(p)$) la fonction qu'il assure.

On modélise la fonction du CAN par un gain pur $G = 0.2$

Expliquer le rôle et le fonctionnement du CAN (Convertisseur Analogique/Numérique), en déduire $B_7(p)$.

Expliquer le rôle et le fonctionnement des différents capteurs présents sur le système.

Quelle relation doit-il exister entre $B_1(p)$, $B_6(p)$ et $B_7(p)$. Expliquer pourquoi.

A partir du schéma organique (voir **DOSSIER RESSOURCE**), déterminer $B_1(p)$ et $B_6(p)$.

Déterminer $B_5(p)$ à partir de la relation entre θ_1 et $\dot{\theta}_1$.

Expliquer comment réaliser expérimentalement la relation entre $\dot{\theta}_1$ et $\dot{\theta}_m$.

Lancer une acquisition pour un trapèze de vitesse de 0° à 90°. Afficher toutes les courbes.

Enregistrer les courbes dans votre répertoire. Puis ouvrir ce fichier avec le fichier python (voir sur le site du professeur et explications dans le **DOSSIER RESSOURCES**).

Tracer les courbes ω_{mot} , ω_{bras} et de la position θ_1 en fonction du temps.

Tracer la courbe du rapport $\frac{\omega_{mot}}{\omega_{bras}}$ en fonction de la position θ_1.

Montrer que cette relation n'est pas linéaire mais qu'elle peut être linéarisée sur des plages d'angles. Indiquer ces plages d'angles et la pente de la droite. Déterminer une valeur moyenne du rapport $\frac{\omega_{mot}}{\omega_{bras}}$ sur la plage d'angles considérée. Commenter le résultat global obtenu.

Après calculs et linéarisation, on donne la relation : $\theta_{bras} = \frac{\theta_{mot}+19.5}{112}$ pour $30° \leq \theta_1 \leq 90°$.

En déduire $B_4(p)$.

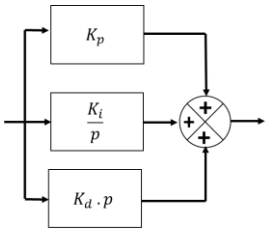
Les quatre équations du moteur à courant continu sont données dans le **DOSSIER RESSOURCES**.

On suppose que L, f et $C_r(t)$ sont négligeables. On donnera $J_{eq} = 7.10^{-5} kg.m^2$. On pose $\Omega_m(p) = \dot{\theta}_m(p)$.

Déterminer $B_3(p) = \frac{\dot{\theta}_m(p)}{U_m(p)}$.

A partir de la documentation technique du moteur CC 24V fournie dans le **DOSSIER TECHNIQUE**, trouver les valeurs des différentes constantes présentent dans la fonction de transfert globale du moteur CC modélisé précédemment.

Le PID est une correcteur Proportionnel Intégral Dérivé de forme générale :



$$H_{PID}(p) = K_p + \frac{K_i}{p} + K_d.p$$

En déduire $B_2(p)$ dans le cas général.

<u>Remarque :</u> Le PID ne sera utilisé, dans un premier temps, qu'en tant que correcteur proportionnel (K_p uniquement, $K_i = 0$ et $K_d = 0$).

Compléter le schéma bloc Scilab fourni à l'aide des résultats précédents.

Analyser et comparer les résultats expérimentaux et numériques précédents. Conclure.

3 – Amélioration du modèle

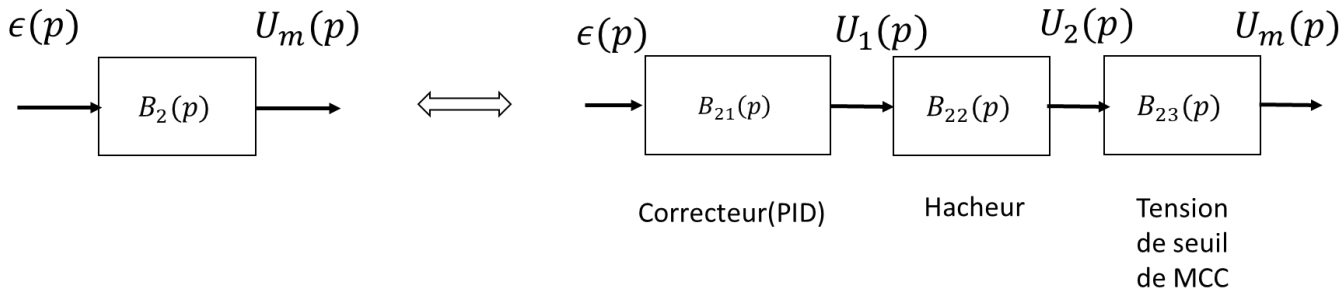
On remarque que pour des écarts importants entre la valeur de la consigne et la position réelle du bras, le phénomène de saturation de tension se produit.

La courbe de réponse obtenue ne peut pas dans ce cas être assimilée à celle d'un système du second ordre.

Pour contourner ce problème et réaliser néanmoins une comparaison entre le système réel et le modèle, on peut :

- Soit en simulation avec Scilab, remplacer le bloc du correcteur.
- Soit demander au système réel d'effectuer un échelon de faible amplitude.

Le bloc $B_2(p)$ n'est en réalité pas aussi simple qu'un simple bloc correcteur. Il est possible de le décomposer en 3 blocs :



Correcteur Proportionnel, Intégral, Dérivé

Il faut savoir que la commande du système MaxPID n'est pas un asservissement de type continu mais de type dit « échantillonné ». Dans ce cas, la commande n'est pas calculée de façon continue, mais par pas de durée $\boldsymbol{T_e}$ (période d'échantillonnage).

Les lignes de l'algorithme suivant sont traitées par le calculateur de façon cyclique par périodes de durée $\boldsymbol{T_e}$.

L'Algorithme du régulateur P.I.D. numérique fourni par le constructeur du système est :

Calcul de l'écart : $Ecart(t) = Consigne(t) - Mesure(t)$. (valeurs exprimées en points)

Action proportionnelle : $CommandeProportionnelle(t) = Ecart(t) * K_p$
avec K_p « coefficient proportionnel » : $0 < K_p < 255\ points$

Action intégrale : $CommandeIntégrale(t) = CommandeIntégrale(t - Te) + (Ecart\ (t) * K_i)$
avec K_i « coefficient intégral » : $0 < K_i < 255\ points$

Action dérivée : $CommandeDérivée\ (t) = \{ Ecart\ (t) - Ecart\ (t - Te)\} * K_d$
avec K_d « coefficient dérivé » : $0 < K_d < 255\ points$

Commande numérique (en points) envoyée au convertisseur numérique/analogique *:*

$$\boldsymbol{Commande = 3 * [CommandeProportionnelle + CommandeIntégrale/4 + CommandeDérivée * 16] / 256}$$

Indications :

Si $\boldsymbol{\varepsilon(t)}$ est une fonction du temps continue et dérivable [$\boldsymbol{\varepsilon(t)}$ est ici l'écart],

Si $\boldsymbol{T_e}$ est une période d'échantillonnage très petite, alors :

- pour calculer une valeur approchée de la dérivée de $\boldsymbol{\varepsilon(t)}$ entre les instants $\boldsymbol{t - T_e}$ et $\boldsymbol{t}$, on calcule $\{ \boldsymbol{\varepsilon(t) - \varepsilon(t - T_e)} \} / \boldsymbol{T_e}$.
- pour calculer une valeur approchée de l'intégrale de $\boldsymbol{\varepsilon(t)}$ entre les instants $\boldsymbol{t_1}$ et $\boldsymbol{t_2}$, on peut découper l'intervalle $\{\boldsymbol{t_1, t_2}\}$ en $\boldsymbol{n}$ intervalles égaux de durée $\boldsymbol{T_e}$ et on calcule la somme : $\boldsymbol{T_e.\varepsilon(t_1 + T_e) + T_e.\varepsilon(t_1 + 2.T_e) + \ldots . + T_e.\varepsilon(t_1 + n.T_e)}$.

Calculer la valeur de Commande pour une durée de fonctionnement de t secondes (variation de 0 à t) qui comprend n périodes d'échantillonnage de durée.

Proposer une fonction de commande approchée, dans le domaine linéaire continu, équivalente à ce correcteur numérique (en fonction de T_e, K_p, K_i, K_d).

Déterminer $B_{21}(p)$.

Tension de seuil du MCC

Dans la pratique, le moteur ne peut pas tourner si la tension qui lui est appliquée est inférieure à 2,4 V. Cette tension est appelée tension de seuil.

Expliquer les origines physiques de la tension de seuil du MCC.

Compléter la simulation Scilab avec un bloc

(*CPGE/Non-linéarités*).

Modélisation du Hacheur

La fonction de transfert du hacheur qui alimente le moteur n'est pas connue. On assimile ce hacheur à un amplificateur linéaire dont on va déterminer le gain.

Réaliser un essai sur le système à l'aide du menu « Pilotage et visu » :

- MAXPID placé à l'horizontal
- Durée de la mesure : 1000 ms avec une période d'acquisition de 10 ms
- $K_p = 10$ et $K_i = K_d = 0$.
- Masses embarquées : 2 disques
- Position de départ : 30°
- Echelon de position de 30° pour rester dans la zone de définition de la loi entrée-sortie.

Remarque : Pour simplifier la démarche, on pourrait normalement mettre K_p à 1 mais le moteur risque de ne pas démarrer car cette tension peut être inférieure à sa tension de seuil (2,4 V).

En déplaçant le curseur à l'écran sur la courbe de position, relever différentes valeurs de l'écart en degrés et de la commande moteur en Volts.

Traduire cet écart en nombre de points et exprimer le rapport tension / écart (en points) dans le cas où le gain K_p est de 10.

En tenant compte aussi du coefficient 3/255 du correcteur, amener ce rapport à la valeur de gain de 1.

En déduire le gain du hacheur.

Vérifier par le calcul, avec le résultat obtenu, que pour un écart de 255 points entre la consigne et la mesure, le moteur serait alimenté par sa tension maximale de 24 volts.

Le constructeur a volontairement (par programmation) limité l'écart à 0,9 x 255 points

Vérifier par calcul, que l'on obtient alors pour cet écart, la tension de saturation de 21,6 volts au moteur.

Réaliser le même essai avec $K_p = 255$ sur le système Maxpid, et montrer que les valeurs de saturation de la tension sont bien de 21,6 Volts.

Remarque : Cette valeur peut varier légèrement en fonction des cartes utilisées sur le système.

Remplir sous Scilab le bloc du Hacheur avec

(*CPGE/Non-linéarités*).

Lancer une simulation dans la même configuration que celle réalisée par l'équipe **EXPERIMENTATEUR**.

Analyser et comparer les résultats expérimentaux et numériques précédents. Conclure.

4 – Influence d'un correcteur P, PI ou PD

On se propose de régler les paramètres K_p , K_i et K_d , gains proportionnel, intégral et dérivé en s'appuyant sur l'observation de réponses à un échelon de consigne pour obtenir le meilleur compromis entre tous les critères de réglages qui sont :

- la précision statique
- la précision dynamique
- la possibilité de dépassement (lié à la stabilité)
- la rapidité

Pour réaliser un plan de réglage sérieux, il faudrait affecter 4 valeurs différentes à chaque paramètre P, I et D : soit un plan de 4^3 mesures (64 mesures).

Pour des raisons de temps disponible, nous allons simplement effectuer 8 mesures. (voir tableau).

Essai	K_p	K_i	K_d
1	150	0	0
2	150	45	0
3	50	45	0
4	50	45	40
5	50	0	40
6	50	0	200
7	70	30	40
8	150	30	10

Essais expérimentaux

Pour chaque essai expérimental :

- Appliquer un échelon de consigne de 30° à partir de $\theta_0 = 30°$.
- Relever l'allure de la courbe de réponse ($\theta_{bras}(t)$).
- Observer l'influence du paramètre qui a été modifié par rapport à l'essai précédent.
- Analyser la réponse et la caractériser par rapport aux différents critères de réglage (rapidité, stabilité, précision).

Remarque : Il est possible d'utiliser d'autres valeurs que celles proposées à condition qu'elles soient **inférieures** à celles proposées.

Proposer un réglage qui semble être un bon compromis entre précision, stabilité et rapidité.

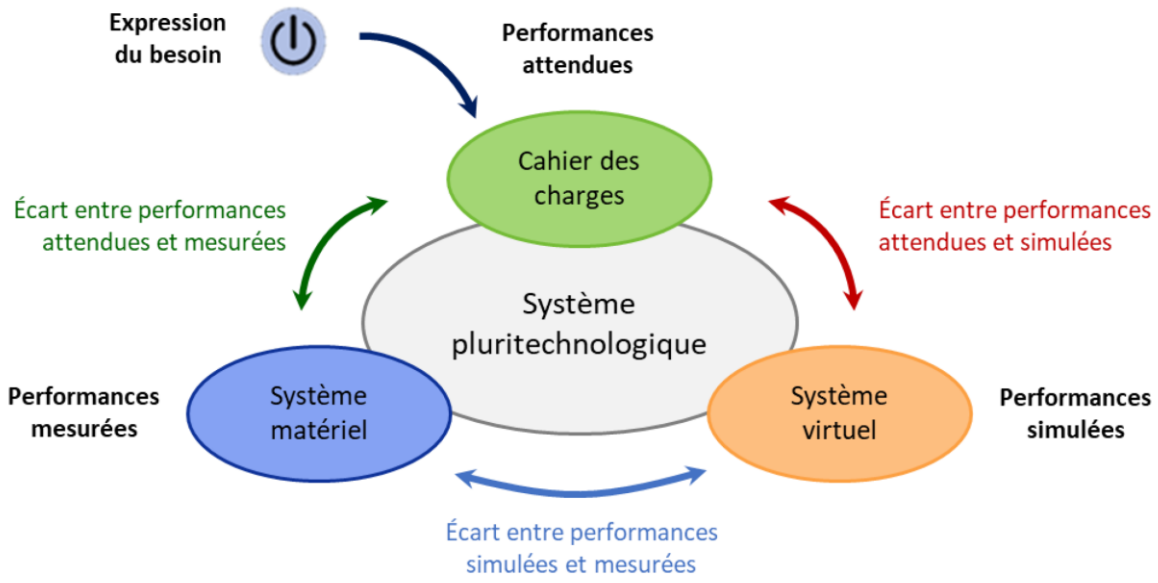
Essais numériques

Pour chaque essai numérique sous Scilab :

- Appliquer un échelon de consigne de 30° à partir de $\theta_0 = 30°$.
- Relever l'allure de la courbe de réponse ($\theta_{bras}(t)$).
- Observer l'influence du paramètre qui a été modifié par rapport à l'essai précédent.
- Analyser la réponse et la caractériser par rapport aux différents critères de réglage (rapidité, stabilité, précision).

Proposer un réglage qui semble être un bon compromis entre précision, stabilité et rapidité.

5 – Validation

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les performances de rapidité, de précision et de stabilité **avec le correcteur Proportionnel Intégral Dérivé**, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

Conclure quant à l'intérêt d'un PID. Sur quels critères de performance chaque partie va-t-elle agir ?